

Diterima : 18 Oktober 2024 | Selesai Direvisi : 04 November 2024 | Disetujui : 11 November 2024 | Dipublikasikan : Desember 2024
DOI : <http://doi.org/10.24853/jk.16.1.111-118>
Copyright © 2024 Jurnal Konstruksia
This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Simulasi Deformasi Timbunan Jembatan *Underpass* Jalan Bil – Mandalika KM. 41 Dengan Plaxis

Sukandi¹, Bq. Malikhah Hr¹, Indah Arry Pratama¹ dan Alpiana Hidayatulloh¹

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Mandalika, Jl. Pemuda No. 59A, Kota Mataram, 83125
Email : sukandi@undikma.ac.id

ABSTRAK

Penetapan kawasan Mandalika sebagai KEK (Kawasan Ekonomi Khusus) memerlukan berbagai infrastruktur sebagai salah satu sarana dan prasarana untuk menunjang perkembangan KEK. Bentuk infrastruktur yang dibangun berupa jalan *bypass* yang menghubungkan antara BIL – Mandalika. Pembangunan jalan BIL – Mandalika berada pada lapisan tanah lempung ekspansif sehingga rawan terjadi penurunan. Jalan *bypass* BIL – Mandalika dilengkapi dengan pembangunan jembatan *underpass* dijalan perlintasan dan sungai. Adanya timbunan jembatan *underpass* menimbulkan permasalahan karena terjadi amblesan dan penurunan pada jembatan tersebut. Untuk melihat seberapa besar penurunan pada jembatan, maka dilakukan analisis dengan simulasi numeris menggunakan *Software plaxis*. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada timbunan jembatan *underpass* KM. 41 BIL – Mandalika dengan simulasi *Plaxis*. Metode yang digunakan yaitu melakukan kajian data laboratorium sebagai parameter *input* dalam simulasi. Simulasi *Plaxis* di idealisasi 2D pada kondisi *plane strain* menggunakan model *Mohr-Coulomb* untuk timbunan dan tanah dasar, sedangkan *sheetpile* didekati dengan model *linear elastic*. Simulasi numeris dengan *Plaxis* dilakukan dalam kondisi timbunan jembatan *underpass* eksisting dan penambahan beban kendaraan. Hasil simulasi *Plaxis* menunjukkan telah terjadi penurunan pada timbunan jembatan *underpass* karena berada pada lapisan tanah lempung ekspansif. Penurunan timbunan jembatan *underpass* semakin meningkat setelah pemberian beban kendaraan 25 ton, peningkatan penurunan yang terjadi sebesar 38% dari kondisi timbunan jembatan eksisting.

Kata kunci: timbunan jembatan *underpass*, simulasi *plaxis*, lempung ekspansif, penurunan.

ABSTRACT

The designation of the Mandalika area as a Special Economic Zone (KEK) requires various infrastructure as one of the facilities and infrastructure to support the development of the KEK. The form of infrastructure built is a bypass road connecting BIL - Mandalika. The construction of the BIL – Mandalika road is on an expansive clay layer so it is prone to subsidence. The BIL – Mandalika bypass road is equipped with the construction of an underpass bridge at the crossing and river. The existence of embankments on underpass bridges causes problems because there is subsidence and subsidence on the bridge. To see how much the bridge has decreased, an analysis was carried out using numerical simulation using *plaxis Software*. The aim of the research is to determine the deformation that occurs in the KM underpass bridge embankment. 41 BIL – Mandalika with *Plaxis* simulation. The method used is to study laboratory data as input parameters in the simulation. The *Plaxis* simulation is idealized in 2D under plane strain conditions using the *Mohr-Coulomb* model for the embankment and subgrade, while the sheet pile is approximated by a linear elastic model. Numerical simulations with *Plaxis* were carried out under conditions of existing underpass bridge embankments and additional vehicle loads. *Plaxis* simulation results show that there has been a decrease in the embankment of the underpass bridge because it is located in a layer of expansive clay soil. The decrease in the embankment of the underpass bridge increased further after the 25 ton vehicle load was applied, an increase in the decrease that occurred amounting to 38% of the condition of the existing bridge embankment.

Keywords: underpass bridge embankment, *plaxis* simulation, expansive clay, settlement

1. PENDAHULUAN

Pariwisata di pulau Lombok semakin meningkat seiring dengan penetapan kawasan Mandalika sebagai KEK (Kawasan Ekonomi Khusus). Untuk menunjang perkembangan KEK, maka dibangun berbagai infrastruktur sebagai salah satu sarana dan prasarana penunjang. Bentuk infrastruktur yang dibangun berupa jalan *bypass* yang menghubungkan antara BIL - Mandalika. Pembangunan jalan BIL - Mandalika berada pada lapisan tanah lempung ekspansif sehingga rawan terjadi penurunan tanah akibat dari kembang susut yang tinggi pada tanah lempung ekspansif. Penurunan jalan ini bisa terlihat pada kondisi jalan yang bergelombang akibat beban kendaraan yang diterima oleh jalan tersebut.

Pembangunan jalan *bypass* BIL - Mandalika dilengkapi pula dengan infrastruksi yang lain seperti pembangunan jembatan *underpass* dijalan perlintasan dan sungai. Pembangunan jembatan *underpass* menimbulkan masalah baru karena terjadi amblesan dan penurunan pada jembatan tersebut. Penurunan pada jembatan *underpass* kemungkinan akibat dari jembatan yang menumpang pada lapisan tanah lempung ekspansif. Untuk melihat seberapa besar penurunan atau deformasi pada jembatan, maka perlu dilakukan analisis terhadap jembatan tersebut.

Analisis deformasi pada jembatan *underpass* dilakukan dengan cara simulasi numeris. *Software* yang dipakai untuk simulasi numeris yaitu *Software* plaxis. Simulasi numeris dengan plaxis menerapkan konsep metode elemen hingga. Dengan simulasi diharapkan dapat melihat model deformasi pada tanah dibawah timbunan *underpass* dan stabilitas lereng timbunan *underpass*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui deformasi yang terjadi pada timbunan jembatan *underpass* KM 41 BIL - Mandalika dengan simulasi Plaxis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dinding penahan tanah

Dinding penahan tanah merupakan suatu struktur yang didesain untuk menjaga dan mempertahankan agar tidak terjadi longsoran akibat tekanan tanah lateral yang ditimbulkan oleh tanah urugan atau tanah asli yang labil. Bangunan dinding penahan tanah biasa digunakan untuk proyek irigasi, jalan raya, pelabuhan, basement, pangkal jembatan, dan berfungsi sebagai penahan tanah disekitarnya [8]. Jenis-jenis dinding penahan tanah beraneka ragam, disesuaikan dengan keadaan lapangan dan aplikasi yang akan digunakan. Dinding penahan tanah biasanya dibagi menjadi dua kategori yaitu sistem stabilitas eksternal dan sistem stabilitas internal.

1. Sistem stabilitas eksternal

Sistem stabilitas eksternal adalah sistem dinding penahan tanah yang menahan beban lateral dengan menggunakan berat dan kekakuan struktur. Sistem ini terbagi menjadi dua kategori yaitu dinding gravitasi yang memanfaatkan massa yang besar sebagai dinding penahan tanah dan In-situ wall yang mengandalkan kekuatan lentur sebagai dinding penahan.

2. Sistem stabilitas internal

Sistem stabilitas internal merupakan sistem yang memperkuat tanah untuk mencapai kestabilan yang dibutuhkan. Sistem ini dibagi menjadi dua kategori yaitu *reinforced soil* dan in-situ *reinforcement*. *Reinforced soil* merupakan sistem yang menambah material kekuatan saat tanah diurug, sedangkan in-situ *reinforcement* merupakan sistem yang menambah material kekuatan dengan cara dimasukkan ke dalam tanah. Dinding penahan sudah banyak diaplikasikan untuk pekerjaan yang berkaitan dengan jalan raya, jalan kereta api, jembatan perumahan dan lain-lain.

Tegangan - regangan dalam tanah

Tegangan yang terjadi dalam tanah diakibatkan oleh bermacam-macam pembebanan berdasarkan teori elastisitas, sekalipun tanah pada umumnya tidak elastis penuh, tidak isotropis dan tidak juga homogen, perhitungan untuk memperkirakan besarnya kenaikan tegangan akibat berat sendiri tanah.

1. Tegangan normal total

Merupakan perkalian dari berat volume tanah (γ) dengan kedalaman titik yang ditinjau (z). Dengan tidak memperhitungkan pengaruh air, maka besarnya tegangan normal total adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \gamma \cdot z \quad (1)$$

2. Tegangan efektif

Merupakan tegangan dalam tanah yang disebabkan oleh gaya-gaya air yang terdapat di dalam tanah. Pada kondisi tanah jenuh air, Terzaghi mengubah persamaan Mohr-Coulomb dalam bentuk tegangan efektif (σ') yang dipengaruhi oleh tekanan air pori (u):

$$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (2)$$

$$\tau = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (3)$$

Analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk mengetahui kondisi suatu lereng baik lereng alami maupun lereng buatan. Tujuan analisis stabilitas lereng adalah memperkirakan bentuk keruntuhan dan tingkat kerawanan lereng terhadap longsoran serta merancang lereng timbunan supaya memenuhi kriteria keamanan.

Berdasarkan persamaan tegangan geser tanah Mohr-Coulomb (1776) dalam Das (1993), kekuatan geser tanah yang tersedia atau yang dikerahkan oleh tanah adalah:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (4)$$

Metode analisis stabilitas lereng yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik reduksi kekuatan geser (*strength*

reduction technique) metode elemen hingga. Dalam teknik reduksi (pengurangan) kekuatan geser tanah, parameter kuat geser tanah c' dan ϕ' yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis sampai menyebabkan keruntuhan [3]. Nilai reduksi dari parameter kuat geser seperti persamaan:

$$c'_f = \frac{c'}{SRF} \quad (5)$$

$$\phi'_f = \tan^{-1} \left(\frac{c'}{SRF} \right) \quad (6)$$

dengan, SRF = faktor pengurangan kekuatan (*strength reduction factor*) saat runtuh. Nilai SRF adalah sama dengan nilai faktor aman (SF) saat runtuh.

Sower (1979) dalam Liu (1981) memberikan faktor aman untuk galian dan timbunan, yaitu $SF < 1$ (tidak aman), $1 \leq SF \leq 1,2$ (lereng meragukan) dan $SF > 1,2$ (aman).

Analisis deformasi dengan plaxis

Perilaku tanah dan bangunan struktur yang menerima beban dapat dianalisis dengan menggunakan konsep metode elemen hingga. Untuk memudahkan perhitungan dengan metode elemen hingga, yaitu dengan program Plaxis [1]. Simulasi numeris dengan Plaxis dapat menghitung besarnya deformasi timbunan dan tanah secara 2D serta dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas dari tanggul. Metode simulasi numeris dapat diidealisasi dengan konsep *plane strain* 2D, dimana beban bekerja sepanjang struktur pada bidang x-y. *Displacement* dan regangan pada arah sumbu z sama dengan nol sedangkan komponen *Displacement* arah x, y yaitu u, v.

Model material yang sering digunakan dalam simulasi numeris adalah model Mohr-Coulomb yang merupakan model elasto plastis. Model elastis menggambarkan tegangan yang menyebabkan regangan hingga kondisi leleh dan plastis menggambarkan perilaku pasca leleh akibat meningkatnya regangan [7]. Parameter Mohr-Coulomb, yaitu

modulus elastisitas (E) dan *Poisson ratio* (ν) yang mewakili elastisitas tanah, kohesi (c) dan sudut gesek dalam (ϕ) mewakili plastisitas tanah dan sudut *dilatancy* (ψ).

Penurunan akibat pembebanan

Penurunan tanah yang mendukung beban timbunan akan berlangsung selama dan setelah penimbunan. Hal yang diperlukan untuk mengevaluasi besar dan laju penurunan tanah ketika merancang timbunan adalah penurunan jangka panjang yang tidak dipengaruhi oleh perbaikan timbunan. Dalam melakukan analisis stabilitas timbunan diperlukan estimasi besarnya penurunan yang terjadi selama konstruksi, demikian juga ketinggian timbunan yang dirancang untuk memastikan stabilitasnya. Besarnya penurunan yang terjadi pada tanah biasanya disebabkan tanah mengalami pemampatan. Pemampatan tanah tersebut karena adanya deformasi pada butiran tanah, penyusunan kembali dari butiran dan keluarnya air serta udara dari rongga pori [9].

Ketika beban dengan dimensi terbatas dengan cepat diterapkan pada tanah, maka akan dihasilkan penurunan. Besarnya penurunan total yang terjadi pada tanah berbutir halus jenuh adalah jumlah dari penurunan segera (*initial settlement*) dan penurunan konsolidasi. Penurunan segera terjadi dengan segera setelah tanah dasar menerima beban tanpa mengakibatkan perubahan kadar air. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*) merupakan proses berkurangnya volume tanah yang disebabkan oleh keluarnya air pada rongga yang merupakan fungsi waktu. Dengan demikian, maka mekanisme konsolidasi merupakan respon dari tegangan regangan terhadap fungsi waktu [2].

3. METODOLOGI PENELITIAN

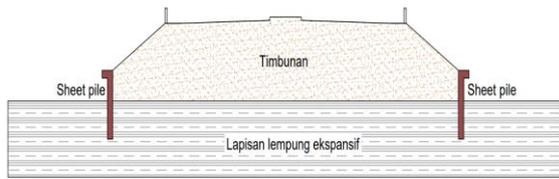
Lokasi penelitian adalah Ruas Jalan *bypass* BIL - Mandalika Desa Sukadana Kecamatan Pujut Kabupaten Lombok

Tengah Provinsi Nusa Tenggara Barat. Metode yang digunakan adalah survei lapangan dan pengumpulan data geologi, data penyelidikan geoteknik, data sifat fisik dan sifat mekanik tanah. Melakukan kajian dan analisis data yang dipakai sebagai parameter *input* dalam simulasi numeris dengan *Plaxis*. Simulasi dilakukan dengan *idealisasi 2D* pada kondisi *plane strain* dengan model *Mohr-Coulomb* untuk tanah/batuan dasar, sedangkan dinding penahan berupa pasangan batu dengan materialnya didekati *model linear elastic*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

1. Geologi Daerah Penelitian
Geomorfologi lokasi penyelidikan merupakan morfologi pedataran dengan kemiringan lereng kurang dari 5° (derajat). Kondisi geologi permukaan daerah penyelidikan berupa endapan aluvium yang terdiri dari tanah lempung akspansif yang berwarna abu-abu dan belum terjadinya proses litifikasi. Singkapan batuan dasar dan struktur geologi tidak terlihat dilokasi penelitian.
2. Penyelidikan Geoteknik
Penyelidikan geoteknik dilakukan untuk memperoleh data-data mengenai jenis dan sifat-sifat tanah di lokasi penyelidikan yang meliputi pengambilan contoh tanah dengan cara *handbore* dan pengamatan muka air tanah. Penyelidikan geoteknik dilakukan dibawah kaki timbunan dengan kedalaman 5.0 meter dari permukaan tanah dasar. Contoh tanah hasil *handbore* dan tanah timbunan selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk mendapatkan sifat fisik dan sifat mekanik sehingga dapat digunakan sebagai parameter *input* dalam simulasi numeris.



Gambar 1. Model Cross Section

3. Simulasi Numeris

Pembuatan model numeris dengan *Software plaxis* memerlukan adanya perlapasan tanah, timbunan jalan serta beban kendaraan. Geometri timbunan *underpass* dibuat berdasarkan *cross section* hasil pengukuran dilapangan, perlapasan tanah dibawah timbunan diperoleh dari hasil *handboring*, seperti pada Gambar 1. Sedangkan parameter *input* diperoleh dari hasil pengujian di laboratorium.

Untuk mengetahui perilaku tegangan dan regangan timbunan dan tanah dasar, maka dilakukan simulasi berupa simulasi kondisi eksisting timbunan *underpass*.

Tabel 1. Parameter *Input*

No	Jenis Material	γ_{unsat} at kN/ m^3	γ_{sat} kN/ m^3	$K_x = K_y$ m/day
1	Tanah dasar	16.7 0	17.7 0	1×10^{-5}
2	Timbunan	17.9 0	18.9 0	0.1
3	Sheet pile	24.0 0	24.0 0	1×10^{-5}

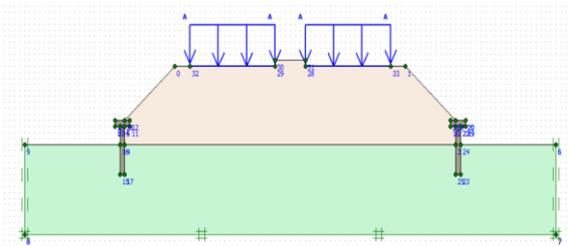
No	Jenis Material	ν	E kN/ m^3	c kN/ m^3	ϕ o
1	Tanah dasar	0.35	500 0	20	10.
2	Timbunan	0.30	1×10^4	22	30.
3	Sheet pile	0.15	1×10^5		

Perilaku timbunan dan tanah dasar yang menerima beban dapat dianalisis dengan menggunakan konsep metode elemen hingga. Untuk memudahkan analisis dengan metode elemen hingga, maka digunakan program *Plaxis* yang merupakan analisa secara numeris. Program *Plaxis* dapat menghitung besarnya perpindahan (*Displacement*) dan distribusi tegangan-regangan pada timbunan dan lapisan tanah dasar. Pada penelitian ini, timbunan dan tanah dasar dimodelkan secara dua dimensi dengan perilaku material tanah menggunakan model *Mohr - Coulomb*.

Model *Mohr-Coulomb* merupakan suatu *constitutive model* yang digunakan untuk menganalisa perilaku timbunan dan tanah dasar akibat beban statis yang bekerja. Parameter *input* diperoleh dari hasil pengujian laboratorium, seperti Tabel 1 dan Tabel 2.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam pemodelan adalah:

1. Material tanah dasar untuk setiap lapisan adalah homogen dan isotropis.
2. Model timbunan *underpass* disesuaikan kondisi eksisting.
3. Beban kendaraan diambil sebesar 25 ton dan dinding *sheet pile* disesuaikan dengan model di lapangan.



Gambar 2. Model Timbunan *Underpass* Kondisi Eksisting

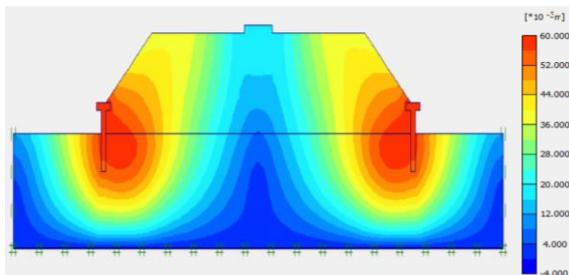
Pembahasan

1. Perilaku Tegangan-Regangan
Simulasi dibagi menjadi 2 (dua) tahap yaitu tahap pertama simulasi kondisi timbunan *underpass* eksisting, tahap

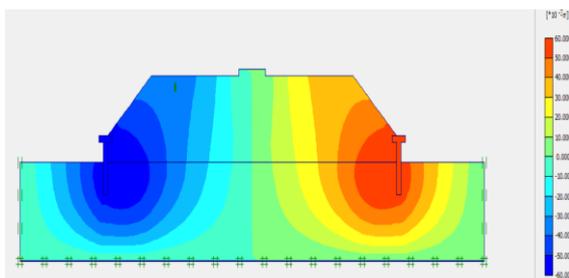
kedua simulasi setelah penambahan beban kendaraan. Hasil simulasi numeris disajikan dalam bentuk *Displacement* berupa *total Displacement*, *horizontal Displacement* dan *vertical Displacement*.

Berdasarkan nilai *Displacement* dapat diketahui perilaku tanah dasar dan timbunan. Pengamatan di lapangan menunjukkan timbunan telah mengalami gejala deformasi, hal ini ditandai dengan penuruna aspal jalan, melendutnya pagar pembatas jalan dan kondisi trotoar jalan yang mirip kearah lereng timbunan. Untuk membuktikan telah terjadi deformasi pada timbunan *underpass*, maka dilakukan simulasi numeris dengan *Plaxis 2D*. Dari tampilan *Displacement* yang merupakan bagian dari tegangan-regangan dapat diketahui arah *total Displacement* pada timbunan dan tanah dasar, baik *Displacement* arah vertikal maupun horizontal.

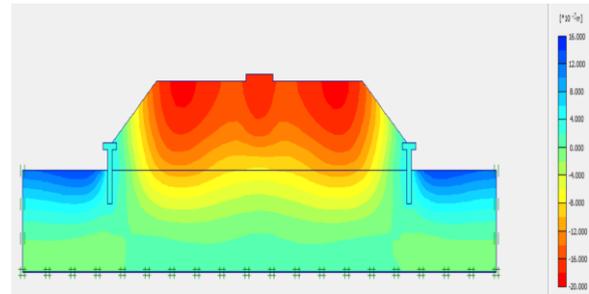
a. Simulasi timbunan *underpass* kondisi eksisting



Gambar 3. *Total Displacement* (*total disp.*= 58.95×10^{-3} m)



Gambar 4. *Horizontal Displacement* (*Horizontal disp.*= 58.94×10^{-3} m)

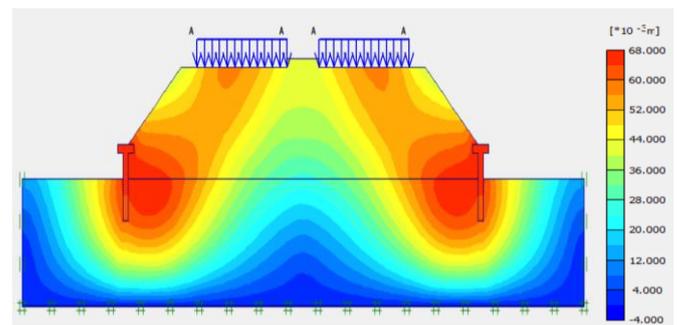


Gambar 5. *Vertikal Displacement* (*Vertical disp.*= 18.76×10^{-3} m)

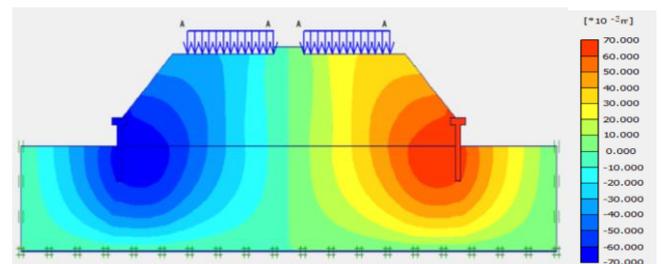


Gambar 6. *Model Penurunan Timbunan* (*Vertical disp.*= 11.32×10^{-3} m)

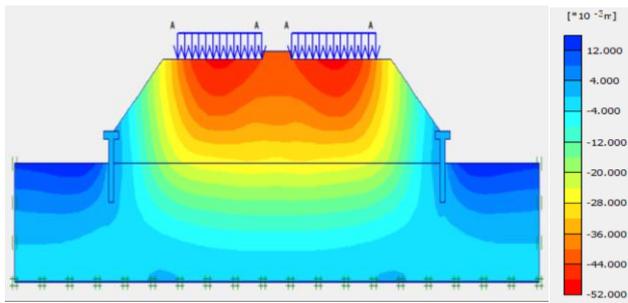
b. Simulasi akibat penambahan beban kendaraan



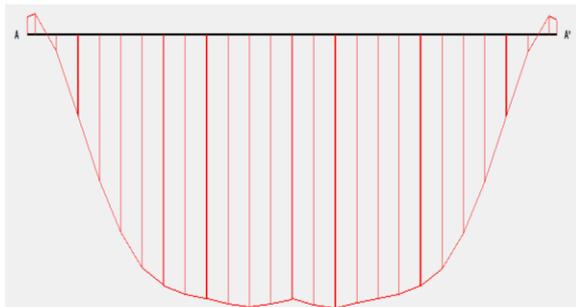
Gambar 7. *Total Displacement* (*Total disp.*= 67.43×10^{-3} m)



Gambar 8. *Horizontal Displacement* (*horizontal disp.*= 67.28×10^{-3} m)



Gambar 9. Vertikal Displacement (Vertical disp.= 49.18×10^{-3} m)



Gambar 10. Model Penurunan Timbunan (Vertical disp.= 27.77×10^{-3} m)

Tabel 2. Nilai Displacement Masing-Masing Kondisi

No	Kondisi	Displacement		
		Total	Horiz	Verti
1	Timbunan <i>underpass</i> eksisting	58.95 $\times 10^{-3}$	58.94 $\times 10^{-3}$	18.7 6 $\times 10^{-3}$
2	Penambahan beban kendaraan	67.43 $\times 10^{-3}$	67.28 $\times 10^{-3}$	49.1 8 $\times 10^{-3}$

5. KESIMPULAN

1. Penurunan yang terjadi pada timbunan *underpass* disebabkan karena bertumpu dilapisan tanah

lempung ekspansif yang mengalami peristiwa konsolidasi.

2. Penambahan beban kendaraan menyebabkan semakin besar penurunan (*Displacement vertical*) yang terjadi pada timbunan *underpass*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Brinkgreve, R. B. J and Vermeer, P. A. (2007). "Plaxis Version 7, A. A. Balkema". Rotterdam, Netherland.
- [2] Cemica, J.F. (1995). "Foundation Design, John Wiley and Sons, Inc.
- [3] Chang, Y. L. and Huang, T. K. (2005). "Slope Stability Analysis using Strength Reduction Technique". Chinese Institute Of Engineering 28, No.2, 231-240.
- [4] Craig, R. F. (1987). "Mekanika Tanah". Erlangga, Jakarta.
- [5] Coduto, Donald, P. (2001). "Foundation Design Principles and Practices, Second Edition". Prentice Hall, New Jersey.
- [6] Das, B. M. (1988). "Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik), Jilid 2. Mochtar, N.E & Mochtar, I.B., Erlangga, Jakarta.
- [7] Griffieths, D. V. And Lane, P. A. (1999). "Slope stability analysisby Finite elements, Geotechnique 49, No.3, pp.387-403.
- [8] Hardiyatmo, H.C., 2003, *Mekanika Tanah II*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [9] Hardiyatmo, H.C., 2006, *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- [10] Karnawati, D. (2004). *Bencana Gerakan Massa Tanah/Batuan di Indonesia, Evaluasi dan Rekomendasi*, hal. 9-38, Permasalahan, Kebijakan dan Penanggulangan Bencana Tanah Longsor di Indonesia, P3TPSLK-BPPT dan HSF, Jakarta

- [11] Liu, C., and Evett B. J. (1981). *Soil and Foundations*". Printice Hall, New Jersey.
- [12] Zienkiwicz, O. C. (1997). *"The Finite Elemen Methode, Third Edition"*. Tata McGraw-Hill Publishing Co. Ltd. New Delhi